



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁷ :

H05H 7/00, G21K 5/10

A2

(11) Numéro de publication internationale:

WO 00/40064

(43) Date de publication internationale:

6 juillet 2000 (06.07.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/BE99/00167

(22) Date de dépôt international: 20 décembre 1999 (20.12.99)

(30) Données relatives à la priorité:

9800935² 24 décembre 1998 (24.12.98) BE

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): ION BEAM APPLICATIONS [BE/BE]; Chemin du Cyclotron 3, B-1348 Louvain-La-Neuve (BE).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (US seulement): JONGEN, Yves [BE/BE]; Avenue des Citeaux 16, B-1348 Louvain-La-Neuve (BE).

(74) Mandataires: VAN MALDEREN, Joëlle etc.; Office Van Malderen, Place Reine Fabiola 6/1, B-1083 Bruxelles (BE).

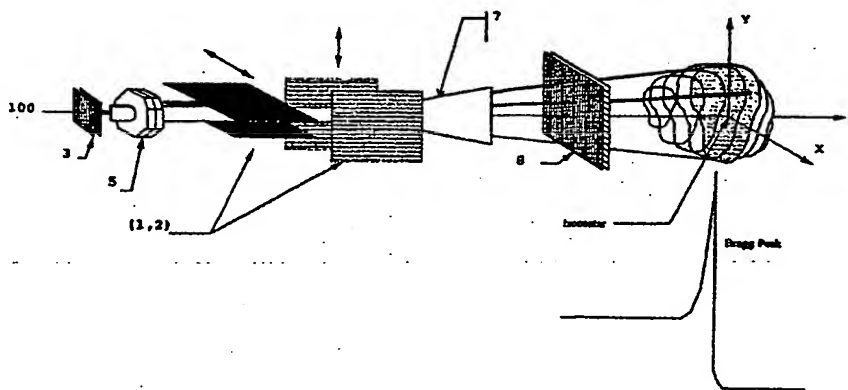
(81) Etats désignés: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée

Sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport.

(54) Title: METHOD FOR TREATING A TARGET VOLUME WITH A PARTICLE BEAM AND DEVICE IMPLEMENTING SAME

(54) Titre: PROCEDE DE TRAITEMENT D'UN VOLUME CIBLE PAR UN FAISCEAU DE PARTICULES ET DISPOSITIF APPLIQUANT CE PROCEDE



(57) Abstract

The invention concerns a method for treating a target volume with a particle beam, in particular a proton beam, which consists in generating said particle beam using an accelerator and in producing from said beam a narrow spot directed towards the target volume, characterised in that said spot sweeping speed and the particle beam intensity are simultaneously varied.

(57) Abrégé

La présente invention se rapporte à un procédé de traitement d'un volume cible par un faisceau de particules, en particulier des protons, dans lequel on produit ce faisceau de particules à l'aide d'un accélérateur et on réalise à partir de ce faisceau un spot étroit dirigé vers le volume cible, caractérisé en ce que l'on fait varier simultanément la vitesse de balayage dudit spot et l'intensité du faisceau de particules.

Best Available Copy

FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AL	Albania	ES	Spain	LS	Lesotho	SI	Slovenia
AM	Armenia	FI	Finland	LT	Lithuania	SK	Slovakia
AT	Austria	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Senegal
AU	Australia	GA	Gabon	LV	Latvia	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaijan	GB	United Kingdom	MC	Monaco	TD	Chad
BA	Bosnia and Herzegovina	GE	Georgia	MD	Republic of Moldova	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tajikistan
BE	Belgium	GN	Guinea	MK	The former Yugoslav Republic of Macedonia	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Greece	ML	Mali	TR	Turkey
BG	Bulgaria	HU	Hungary	MN	Mongolia	TT	Trinidad and Tobago
BJ	Benin	IE	Ireland	MR	Mauritania	UA	Ukraine
BR	Brazil	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Iceland	MX	Mexico	US	United States of America
CA	Canada	IT	Italy	NE	Niger	UZ	Uzbekistan
CF	Central African Republic	JP	Japan	NL	Netherlands	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norway	YU	Yugoslavia
CH	Switzerland	KG	Kyrgyzstan	NZ	New Zealand	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Democratic People's Republic of Korea	PL	Poland		
CM	Cameroon	KR	Republic of Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kazakhstan	RO	Romania		
CU	Cuba	LC	Saint Lucia	RU	Russian Federation		
CZ	Czech Republic	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Germany	LK	Sri Lanka	SE	Sweden		
DK	Denmark	LR	Liberia	SG	Singapore		
EE	Estonia						

5

10

PROCEDE DE TRAITEMENT D'UN VOLUME CIBLE PAR UN FAISCEAU DE
PARTICULES ET DISPOSITIF APPLIQUANT CE PROCEDE

Objet de l'invention

La présente invention se rapporte à un
procédé de traitement d'un volume cible par un faisceau de
15 particules, notamment de protons.

La présente invention se rapporte également
au dispositif pour la mise en oeuvre dudit procédé.

Le domaine d'application est la
protonthérapie utilisée en particulier dans le cas du
20 traitement du cancer, où il est nécessaire de proposer un
procédé et dispositif d'irradiation d'un volume cible
constituant la tumeur à traiter.

Etat de la technique

25 La radiothérapie est l'une des voies
possibles pour le traitement du cancer. Elle se base sur
l'irradiation du patient, plus particulièrement de sa
tumeur, à l'aide de rayonnements ionisants. Dans le cas
particulier de la protonthérapie, l'irradiation est
30 réalisée à l'aide d'un faisceau de protons. C'est la dose
de radiation ainsi délivrée à la tumeur qui est responsable
de sa destruction.

Dans ce contexte, il importe que la dose
prescrite soit effectivement délivrée au sein du volume

cible défini par le radiothérapeute, tout en épargnant autant que possible les tissus sains et les organes critiques avoisinants. On parle de "conformation" de la dose délivrée au volume cible. En protonthérapie, on connaît différentes méthodes pouvant être utilisées à cet effet, qui sont regroupées en deux catégories : les méthodes dites passives et les méthodes dites actives.

Qu'elles soient actives ou passives, ces méthodes ont pour but commun de manipuler un faisceau de protons produit par un accélérateur de particules de manière à assurer la couverture complète du volume cible selon les trois dimensions : la "profondeur" (dans la direction du faisceau) et, pour chaque profondeur, les deux dimensions définissant le plan perpendiculaire au faisceau. Dans le premier cas, on parlera de "modulation" de la profondeur, ou encore de modulation du parcours des protons dans la matière, alors que dans le deuxième cas, on parlera de la mise en forme du champ d'irradiation dans le plan perpendiculaire au faisceau.

Les méthodes passives utilisent un dégradeur d'énergie pour ajuster le parcours des protons à leur valeur maximale, correspondant au point le plus profond de la zone à irradier, associé à une roue tournante d'épaisseur variable pour réaliser la modulation du parcours (ce dernier dispositif étant ainsi appelé modulateur de parcours). La combinaison de ces éléments avec un "compensateur de parcours" (ou encore "bolus") et un collimateur spécifique, permet d'obtenir une distribution de dose bien conforme à la partie distale du volume cible. Toutefois, un inconvénient majeur de cette méthode réside dans le fait que les tissus sains situés en aval de la partie proximale en dehors du volume cible sont eux aussi parfois soumis à des doses importantes. De plus, la nécessité d'utiliser un compensateur et un collimateur

spécifique au patient et à l'angle d'irradiation alourdit la procédure et en augmente le coût.

Par ailleurs, en vue d'élargir les faisceaux étroits délivrés par l'accélérateur et le système de transport de faisceau, et ceci de manière à couvrir les grandes surfaces de traitement exigées par la radiothérapie, ces méthodes utilisent généralement un système composé d'un double diffuseur. Cependant, les protons perdent de l'énergie dans ces diffuseurs, et de grands champs d'irradiation aux profondeurs les plus grandes sont dès lors difficiles à obtenir à moins de disposer d'une "réserve en énergie" par le biais de l'utilisation d'un accélérateur délivrant des protons d'une énergie bien supérieure à celle qui est nécessaire pour atteindre les zones les plus profondes à l'intérieur du corps humain. Or, il est bien connu que le coût de tels accélérateurs susceptibles de fournir des protons augmente proportionnellement avec l'énergie. Malgré ces inconvénients, les méthodes passives ont été largement utilisées dans le passé et le sont encore aujourd'hui. On peut citer comme exemple de méthode passive, la méthode dite de "double diffusion" bien connue dans l'état de la technique.

Les méthodes dites actives ont pour but de résoudre certains ou parfois même tous les problèmes liés aux méthodes passives. Il existe en fait plusieurs types de méthodes actives. Une première série d'entre elles utilisent une paire d'aimants pour balayer le faisceau sur une surface circulaire ou rectangulaire. C'est le cas par exemple des méthodes dites de "wobbling" et de "raster scanning". Selon certaines de ces méthodes, le faisceau balayé est modulé par un modulateur de parcours similaire à ceux utilisés dans les méthodes passives. On continue à utiliser, dans ce cas, des collimateurs fixes et des

compensateurs de parcours. Selon d'autres méthodes, le volume à traiter est découpé en plusieurs tranches successives, correspondant à des profondeurs successives. Chaque tranche est ensuite balayée par le faisceau, à l'aide des deux aimants de balayage, de manière à couvrir une surface dont les contours sont adaptés à la forme de la tumeur à traiter. Cette forme peut être différente pour chacune des tranches à traiter et est définie à l'aide d'un collimateur variable composé de multiples lames mobiles. On connaît par W. Chu, B. Ludewigt et T. Renner (*Rev. Sci. Instr.* 64, pp. 2055 (1993)) un exemple de ce type de méthode. Grâce à ces méthodes, on peut traiter de grands champs d'irradiation, même aux points les plus profonds du volume à traiter. Cependant, il est parfois nécessaire, selon certaines formes de réalisation basées sur ces méthodes, de continuer à utiliser un bolus et un compensateur. Dans le cas des méthodes qui mettent en oeuvre le découpage par tranches, une meilleure conformation est obtenue entre la dose délivrée et le volume à traiter, pour chaque tranche. Cependant, il est nécessaire, pour chaque tranche d'irradiation, d'adapter le collimateur multi-lames au contour de la section du volume à traiter. La qualité de la conformation dépendra, bien entendu, de la "finesse" du découpage en tranches.

25 . Pour s'affranchir de la nécessité d'utiliser des compensateurs et des collimateurs, même multi-lames, et pour obtenir la meilleure conformation possible de la dose délivrée au volume à traiter, une deuxième série de méthodes actives se sert des aimants de balayage pour définir le contour de la zone à irradier, pour chaque plan d'irradiation, et réalise un découpage à trois dimensions du volume à traiter en de multiples points. Comme pour la première famille de méthodes actives, le déplacement du faisceau selon la dimension longitudinale, dans la

direction du faisceau, se fera soit en modifiant l'énergie au niveau de l'accélérateur, soit en utilisant un dégradeur d'énergie. Celui-ci pourra être situé à la sortie de l'accélérateur ou, à l'opposé, dans la tête d'irradiation, près du patient. Après découpage du volume à irradier en de nombreux petits volumes ("voxels"), chacun de ces volumes se voit délivrer la dose voulue à l'aide d'un fin faisceau balayé en trois dimensions. Les collimateurs spécifiques et autres compensateurs ne sont plus nécessaires. On connaît par E. Pedroni et al. (*Med. Phys.* 22(1) (1995)) un exemple de mise en oeuvre de ce principe. Selon cette réalisation, la dose est déposée par le balayage, selon les trois dimensions, d'un "spot" produit par un faisceau étroit. C'est la technique dite de "pencil beam scanning". La superposition d'un nombre très élevé de ces éléments de dose individuels, délivrés de façon statique, permet d'obtenir une conformation parfaite de la dose au volume cible. Selon cette réalisation, le changement de la position du spot se fait toujours avec le faisceau arrêté. Le déplacement le plus rapide du spot se fait à l'aide d'un aimant défecteur (le "sweeper magnet"). Le mouvement selon le deuxième axe de balayage se fait à l'aide d'un dégradeur ("range shifter"), situé dans la tête d'irradiation, qui permet de balayer le spot selon la profondeur. Enfin, la troisième direction est parcourue grâce au mouvement de la table qui supporte le patient. La position et la dose correspondant à chaque spot sont prédéterminées à l'aide d'un système informatique de planification du traitement. Lors de chaque mouvement du faisceau, c'est-à-dire lors de chaque déplacement du spot, le faisceau est interrompu. Cela se fait à l'aide d'un aimant qui a pour mission de dévier le faisceau vers une direction autre que celle du traitement ("fast kicker magnet").

Ce mode de mise en oeuvre des méthodes dites actives apporte une solution aux problèmes rencontrés par les autres techniques citées précédemment, et il permet d'obtenir la meilleure conformation possible de la dose
5 délivrée au volume à traiter. Cependant, il souffre également de quelques inconvénients. Premièrement, la nécessité d'interrompre le faisceau avant chaque changement de la position du spot a pour conséquence d'allonger considérablement la durée du traitement. Ensuite, le
10 déplacement de la table sur laquelle se trouve le patient est généralement mal perçu par les radiothérapeutes, qui préfèrent éviter toute action pouvant avoir comme conséquence le mouvement des organes à l'intérieur du corps du patient. Enfin, l'utilisation du dégradeur ("range
15 shifter") en aval, juste avant le patient, a pour effet de détériorer certaines des caractéristiques du faisceau.

On connaît également par G. Kraft et al. (*Hadrontherapy in Oncology*, U. Amaldi and B. Larsson, editors, Elsevier Science (1994)) un autre exemple de mise
20 en oeuvre d'une méthode active, développée particulièrement pour les faisceaux d'ions lourds. Ici aussi, le volume à traiter est découpé en une série de tranches successives. Selon cette réalisation, le balayage en profondeur du spot, pour passer d'une tranche à l'autre, est effectué en
25 changeant l'énergie du faisceau directement au niveau de l'accélérateur, qui est dans ce cas un synchrotron. Chaque tranche du volume à traiter est parcourue une seule fois par le spot, le balayage de celui-ci étant réalisé à l'aide de deux aimants de balayage, dans les directions X et Y (la
30 direction Z étant celle du faisceau, dans le sens de la profondeur). Le balayage se fait sans interruption du faisceau, à intensité constante. La vitesse de balayage est variable et est fixée en fonction de la dose à délivrer dans chaque élément de volume. Elle est également ajustée

de manière à tenir compte des éventuelles fluctuations de l'intensité du faisceau. Ainsi, cette méthode permet de s'affranchir de la plupart des inconvénients liés aux méthodes décrites plus haut. Cependant, cette méthode a été
5 spécialement développée pour des ions lourds produits par un synchrotron dont l'énergie peut être variée "pulse par pulse". De plus, ce système irradie une seule fois chaque tranche du volume à traiter, ce qui peut poser des problèmes en cas de mouvement d'organes en cours
10 d'irradiation (par exemple lorsque le volume cible est affecté par la respiration).

Le document "Three-dimensional Beam Scanning for Proton Therapy" de Kanai et al. publié dans Nuclear Instruments and Methods in Physic Research (1^{er} septembre
15 1983), The Netherlands, Vol. 214, No. 23, pp. 491-496 décrit l'utilisation d'un synchrotron produisant un faisceau de protons contrôlé par des aimants de balayage, qui est ensuite dirigé vers un dégradeur d'énergie qui a pour but de modifier les caractéristiques en énergie du
20 faisceau de protons. Ce dégradeur est essentiellement constitué par un bloc de matière dont l'épaisseur est variable de manière discrète. La dose de protons pour chaque volume cible est ajustée de manière dynamique par une mesure et un calcul en temps réel effectués à l'aide
25 d'un ordinateur. Ceci permet d'obtenir une conformation de la dose à fournir en fonction du volume de la cible. On observe qu'aucune régulation du courant du faisceau n'est réalisée dans le procédé.

30 Buts de l'invention

La présente invention vise à proposer un procédé et un dispositif de traitement d'un volume cible par un faisceau de particules qui évitent les inconvénients des méthodes décrites précédemment tout en permettant de

délivrer une dose sur le volume cible avec le plus de flexibilité possible.

En particulier, la présente invention vise à proposer un procédé et un dispositif de traitement qui
5 permettent d'obtenir un rapport variant de 1 à 500 pour la dose fournie pour chaque élément d'un volume cible.

La présente invention vise en particulier à proposer un procédé et un dispositif qui s'affranchissent d'un grand nombre d'éléments auxiliaires tels que
10 collimateurs, compensateurs, diffuseurs ou même modulateurs de parcours.

La présente invention vise en outre à proposer un procédé et un dispositif qui permettent de s'affranchir du mouvement du patient.

15 La présente invention vise également à proposer un procédé et un dispositif qui permettent d'obtenir une protection contre une absence d'émission du faisceau (blanc ou trou) ou contre l'arrêt du déplacement dudit faisceau.

20

Eléments caractéristiques de la présente invention

Un premier objet de la présente invention se rapporte à un procédé de traitement d'un volume cible par un faisceau de particules, notamment de protons, dans
25 lequel on produit ce faisceau de particules à l'aide d'un accélérateur, on réalise à partir de ce faisceau un spot étroit dirigé vers le volume cible, et dans lequel on fait varier simultanément la vitesse de balayage dudit spot et l'intensité du faisceau de particules. En outre, on modifie
30 l'énergie du faisceau de particules de préférence immédiatement après l'extraction de l'accélérateur.

Le spot se déplace ainsi au sein du volume cible selon les trois dimensions. Plus particulièrement, le

déplacement dans les deux directions perpendiculaires à la direction du faisceau se fait de manière continue.

La commande de la vitesse de balayage dudit spot est effectuée à l'aide d'aimants de scanning. La commande simultanée desdits aimants de scanning et de l'intensité du courant du faisceau de particules est planifiée, de manière optimale, à l'aide d'un algorithme de planification des trajectoires desdites particules en y associant une boucle de régulation de haut niveau corrigeant en temps réel lesdites trajectoires optimales pour obtenir une meilleure conformation de la dose au volume cible.

On observe donc que la conformation au volume cible se fait sans l'utilisation de collimateurs variables et uniquement par un contrôle optimal du chemin de déplacement dudit spot. Le volume cible est découpé en plusieurs plans successifs perpendiculaires à la direction du faisceau, correspondant à des profondeurs successives, le déplacement du spot selon la profondeur d'un plan à l'autre se faisant en modifiant l'énergie du faisceau de particules.

De préférence, les mouvements dans un plan d'irradiation sont effectués à l'aide de deux aimants situés de préférence dans la tête d'irradiation. Le mouvement du spot d'un plan d'irradiation à l'autre s'effectue en modifiant l'énergie du faisceau de particules à l'aide d'un dégradeur d'énergie.

De manière avantageuse, on observe que le déplacement du spot peut s'effectuer sans interruption du faisceau. En outre, les contours des surfaces dans chaque plan d'irradiation sont contrôlés par des éléments de balayage.

La présente invention se rapporte également au dispositif de traitement pour la mise en œuvre du

procédé décrit ci-dessus, et qui comprend un accélérateur de particules tel qu'un cyclotron permettant d'obtenir un spot dirigé vers le volume cible associé à des moyens de balayage et en particulier des aimants de scanning. 5 permettant d'obtenir un balayage dudit spot dans les deux directions perpendiculaires à la direction du spot et des moyens permettant d'obtenir une variation de l'intensité dudit faisceau de particules.

De préférence, ce dispositif comprend 10 également des moyens permettant d'obtenir une variation de l'énergie dudit faisceau en vue d'obtenir un déplacement du spot selon la profondeur du volume cible.

Ce dispositif comprend en outre des dispositifs de détection tels que des chambres d'ionisation 15 et/ou éléments de diagnostic permettant d'effectuer des mesures en vue de vérifier la conformation au volume cible.

Un autre objet de la présente invention réside dans un procédé de traitement d'un volume cible par un faisceau de particules, notamment de protons, issu d'un 20 accélérateur à énergie fixe tel qu'un cyclotron, dans lequel on produit un spot étroit dirigé vers le volume cible à l'aide de ce faisceau de particules et en ce que l'on modifie l'énergie dudit faisceau de particules immédiatement après l'extraction de l'accélérateur. Ceci 25 permet de traiter dans un environnement proche du cyclotron les problèmes de diffusion du faisceau, corrigés par exemple à l'aide de fentes, ou les problèmes de straggling corrigés directement à la sortie de l'accélérateur par un aimant d'analyse. Ceci permet également de diminuer le 30 nombre de neutrons produits dans l'environnement proche du patient.

Brève description de la figures

La figure 1 représente une vue éclatée schématique du dispositif destiné à permettre l'irradiation pour le traitement d'un volume cible.

5

Description d'une forme d'exécution préférée de l'invention

La présente invention vise à proposer un procédé et un dispositif de traitement d'un faisceau de protons produit par un accélérateur, de préférence à 10 énergie fixe, visant à permettre l'irradiation d'un volume cible constitué par exemple par une tumeur à traiter dans le cas d'un cancer, et qui présentent des améliorations par rapport à l'état de la technique décrit à la figure 1.

Dans ce but, on vise à déplacer un spot 15 produit à l'aide de ce faisceau de protons selon les trois dimensions directement dans le corps du patient afin de parcourir dans les trois dimensions le volume cible.

A la figure 1, on a représenté en partie le dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon la 20 présente invention. Selon une forme d'exécution préférée, un cyclotron (non représenté) est utilisé pour produire un faisceau de protons générant un spot 100 à déplacer. On prévoit des moyens (3, 5) permettant de modifier l'énergie du faisceau de protons immédiatement après son extraction 25 de l'accélérateur pour permettre le déplacement du spot selon la dimension longitudinale, c'est-à-dire dans la direction du faisceau, afin de définir les différents plans successifs Z d'irradiation au sein du volume cible.

En effet, le volume cible est découpé en 30 plusieurs tranches successives correspondant à des profondeurs différentes. Chaque tranche ou chaque plan d'irradiation est ensuite balayé à l'aide des aimants 1 et 2 de nombreuses fois par ledit spot, ligne par ligne, de

manière à couvrir une surface dont les contours seront généralement différents pour chaque tranche.

Les contours des surfaces à irradier sur chaque plan sont contrôlés par les aimants de balayage 1 et 2. Chacun de ces aimants permet d'effectuer un balayage soit dans la direction X, soit dans la direction X.

En vue de modifier l'énergie du faisceau émis, on utilise de préférence un dégradeur d'énergie, et plus particulièrement un dégradeur d'énergie présentant des caractéristiques similaires à celles décrites dans la demande de brevet déposée par le Titulaire à ce sujet.

On observe ainsi de manière particulièrement avantageuse que le procédé et le dispositif selon la présente invention n'utilisent pas des éléments tels que des collimateurs, des compensateurs, des diffuseurs ou des modulateurs de parcours, ce qui allège particulièrement la mise en oeuvre dudit procédé.

En outre, on observe que selon la présente invention, aucun mouvement du patient n'est prévu. La procédure d'irradiation qui en résulte en sera allégée, plus rapide et plus précise. De ce fait, elle sera également moins coûteuse. On obtiendra ainsi une meilleure conformation de la dose délivrée au volume à traiter, et ceci en un temps minimum.

Selon une caractéristique particulièrement avantageuse, on observe que le déplacement du spot sur chaque plan d'irradiation se fait sans interruption du faisceau, ce qui permet un gain de temps considérable et diminue le risque de sous-dosage entre deux points d'irradiation consécutifs.

Selon la méthodologie mise en oeuvre, on prévoit de parcourir chaque plan à plusieurs reprises afin de limiter la dose délivrée point par point lors de chaque passage, ce qui augmente la sécurité tout en limitant les

problèmes dus aux mouvements des organes à l'intérieur du corps comme la respiration.

De manière préférée, la dose délivrée lors de chaque passage représente environ 2% de la dose totale à
5 délivrer.

En prévoyant de faire varier simultanément la vitesse de balayage du spot et l'intensité du faisceau de protons, on permet d'obtenir un ajustement de la dose à
délivrer pour chaque élément de volume avec une flexibilité
10- accrue.

En outre, on augmente également la sécurité de cette manière, En effet, tout problème lié à une imprécision de l'un des deux paramètres sera automatiquement corrigé par l'autre.

15 La méthodologie mise en oeuvre consiste à déterminer la dose correspondant à chaque spot en prédéterminant l'intensité du faisceau et la vitesse de balayage pour chaque volume d'irradiation (ou voxel), ceci à l'aide d'un système informatique de planification et de
20 traitement. Au cours de l'irradiation, des cartes de doses sont établies en permanence à l'aide de mesures effectuées par des dispositifs de détection tels que des chambres d'ionisation 3 et autres éléments de diagnostic. L'intensité du faisceau et la vitesse de balayage seront
25 instantanément recalculées et réajustées de manière à assurer que la dose prescrite soit effectivement délivrée dans le volume cible.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement d'un volume cible par un faisceau de particules, en particulier des protons, dans lequel on produit ce faisceau de particules à l'aide d'un accélérateur et on réalise à partir de ce faisceau un spot étroit dirigé vers le volume cible, caractérisé en ce que l'on fait varier simultanément la vitesse de balayage dudit spot et l'intensité du faisceau de particules.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on déplace le spot au sein d'un volume cible selon les trois dimensions.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le déplacement dans les deux directions perpendiculaires à la direction du faisceau s'effectue de manière continue.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le volume cible est découpé en plusieurs plans successifs perpendiculaires à la direction du faisceau, correspondant à des profondeurs successives, le déplacement du spot selon la profondeur d'un plan à l'autre se faisant en modifiant l'énergie du faisceau de particules.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'on modifie l'énergie du faisceau de particules immédiatement après l'extraction de l'accélérateur.

6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que les mouvements dans un plan d'irradiation sont effectués à l'aide de deux aimants de balayage (1 et 2) situés de préférence dans la tête d'irradiation.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le

déplacement du spot s'effectue sans interruption du faisceau.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les contours des surfaces dans chaque plan d'irradiation sont contrôlés par des aimants de balayage (1 et 2).

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le spot balaie de nombreuses fois chaque plan d'irradiation.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le mouvement du spot d'un plan d'irradiation à l'autre s'effectue en modifiant l'énergie du faisceau de particules à l'aide d'un dégradeur d'énergie.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la commande simultanée des aimants de balayage (1, 2) et de l'intensité du courant du faisceau de particules est exécutée à l'aide d'un algorithme de planification des trajectoires desdites particules en y associant une boucle de régulation corrigeant en temps réel lesdites trajectoires.

12. Dispositif de traitement d'un volume cible par un faisceau de particules, notamment de protons, comprenant un accélérateur de particules tel qu'un cyclotron permettant d'obtenir un spot dirigé vers le volume cible associé à des moyens de balayage (1 et 2) et en particulier des aimants de scanning permettant d'obtenir un balayage dudit spot dans les deux directions perpendiculaires à la direction du spot et des moyens permettant d'obtenir une variation de l'intensité dudit faisceau de particules.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens permettant

d'obtenir une variation de l'énergie dudit faisceau en vue d'obtenir un déplacement du spot selon la profondeur du volume cible.

14. Dispositif selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un dispositif de détection tel qu'une chambre d'ionisation (3) et/ou un élément de diagnostic permettant d'effectuer des mesures en vue de vérifier la conformation de la dose d'irradiation au volume cible.

15. Procédé de traitement d'un volume cible par un faisceau de particules, notamment des protons, dans lequel on produit le faisceau de particules à l'aide d'un accélérateur à énergie fixe, on réalise à partir de ce faisceau un spot étroit dirigé vers le volume cible, caractérisée en ce que l'on modifie l'énergie dudit faisceau de particules immédiatement après l'extraction de l'accélérateur.

16. Procédé de traitement d'une tumeur cancéreuse affectant un patient, caractérisé en ce que l'on délivre audit patient une dose dont la conformation correspond au volume de la tumeur cancéreuse à traiter.

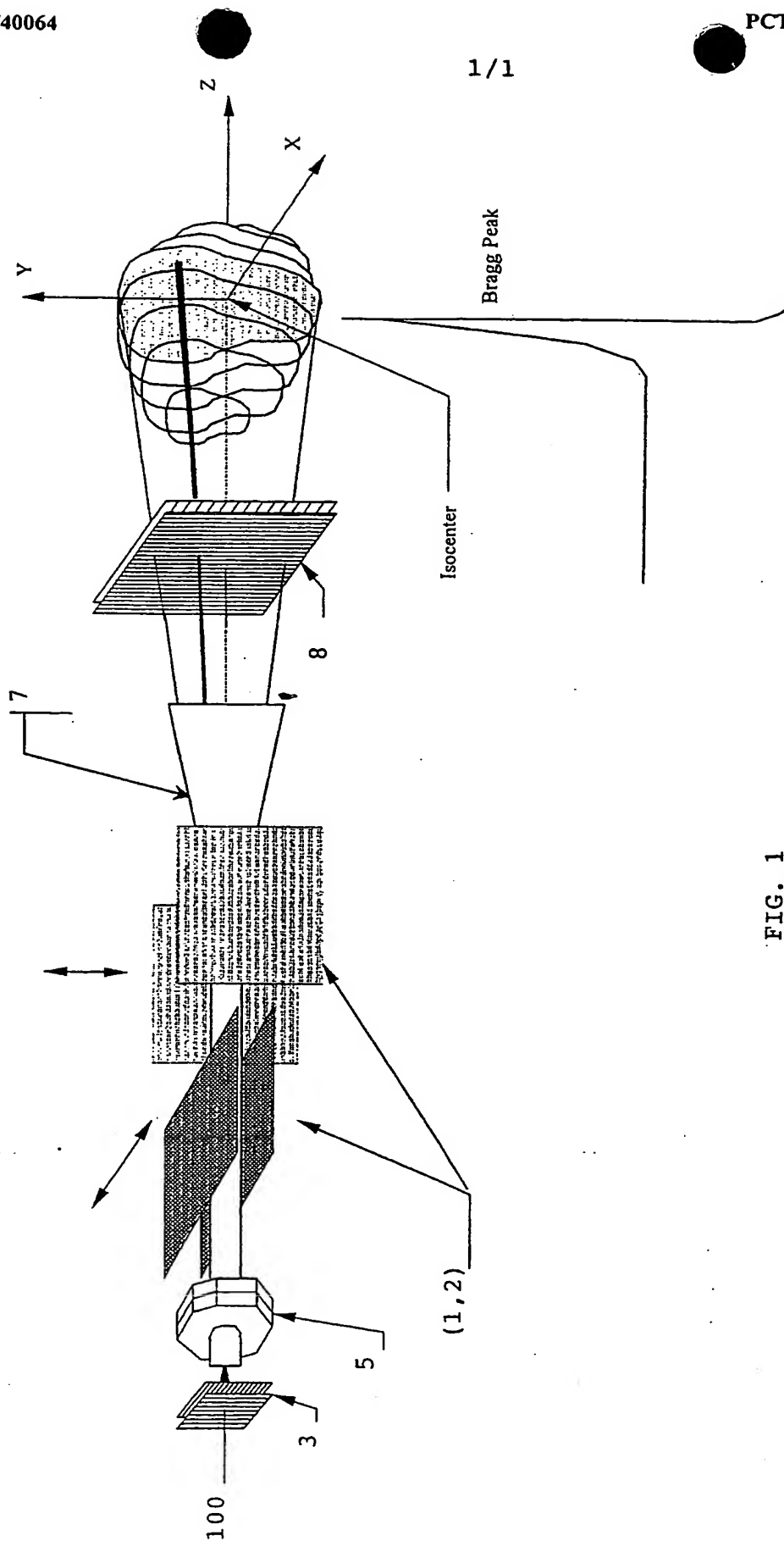


FIG. 1

This Page Blank (uspto)



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁷ :

H05H 7/00, G21K 5/10

A3

(11) Numéro de publication internationale:

WO 00/40064

(43) Date de publication internationale:

6 juillet 2000 (06.07.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/BE99/00167

(22) Date de dépôt international: 20 décembre 1999 (20.12.99)

(30) Données relatives à la priorité:

9800935 24 décembre 1998 (24.12.98) BE

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): ION BEAM APPLICATIONS [BE/BE]; Chemin du Cyclotron 3, B-1348 Louvain-La-Neuve (BE).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (US seulement): JONGEN, Yves [BE/BE]; Avenue des Cîteaux 16, B-1348 Louvain-La-Neuve (BE).

(74) Mandataires: VAN MALDEREN, Joëlle etc.; Office Van Malderen, Place Reine Fabiola 6/1, B-1083 Bruxelles (BE).

(81) Etats désignés: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée

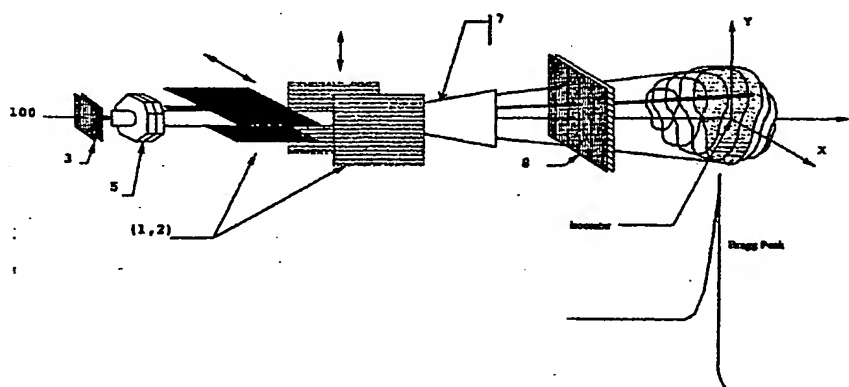
Avec rapport de recherche internationale.

(88) Date de publication du rapport de recherche internationale:

9 novembre 2000 (09.11.00)

(54) Title: METHOD FOR TREATING A TARGET VOLUME WITH A PARTICLE BEAM AND DEVICE IMPLEMENTING SAME

(54) Titre: PROCÉDE DE TRAITEMENT D'UN VOLUME CIBLE PAR UN FAISCEAU DE PARTICULES ET DISPOSITIF APPLIQUANT CE PROCÉDE



(57) Abstract

The invention concerns a method for treating a target volume with a particle beam, in particular a proton beam, which consists in generating said particle beam using an accelerator and in producing from said beam a narrow spot directed towards the target volume, characterised in that said spot sweeping speed and the particle beam intensity are simultaneously varied.

(57) Abrégé

La présente invention se rapporte à un procédé de traitement d'un volume cible par un faisceau de particules, en particulier des protons, dans lequel on produit ce faisceau de particules à l'aide d'un accélérateur et on réalise à partir de ce faisceau un spot étroit dirigé vers le volume cible, caractérisé en ce que l'on fait varier simultanément la vitesse de balayage dudit spot et l'intensité du faisceau de particules.

FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AL	Albania	ES	Spain	LS	Lesotho	SI	Slovenia
AM	Armenia	FI	Finland	LT	Lithuania	SK	Slovakia
AT	Austria	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Senegal
AU	Australia	GA	Gabon	LV	Latvia	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaijan	GB	United Kingdom	MC	Monaco	TD	Chad
BA	Bosnia and Herzegovina	GE	Georgia	MD	Republic of Moldova	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tajikistan
BE	Belgium	GN	Guinea	MK	The former Yugoslav Republic of Macedonia	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Greece	ML	Mali	TR	Turkey
BG	Bulgaria	HU	Hungary	MN	Mongolia	TT	Trinidad and Tobago
BJ	Benin	IE	Ireland	MR	Mauritania	UA	Ukraine
BR	Brazil	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Iceland	MX	Mexico	US	United States of America
CA	Canada	IT	Italy	NE	Niger	UZ	Uzbekistan
CF	Central African Republic	JP	Japan	NL	Netherlands	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norway	YU	Yugoslavia
CH	Switzerland	KG	Kyrgyzstan	NZ	New Zealand	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Democratic People's Republic of Korea	PL	Poland		
CM	Cameroon	KR	Republic of Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kazakstan	RO	Romania		
CU	Cuba	LC	Saint Lucia	RU	Russian Federation		
CZ	Czech Republic	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Germany	LK	Sri Lanka	SE	Sweden		
DK	Denmark	LR	Liberia	SG	Singapore		
EE	Estonia						

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/BE 99/00167

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT

IPC7 H05H7/00 G21K5/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC7 H05H G21K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KANAI T ET AL: "Three-dimensional beam scanning for proton therapy" NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH, 1 September 1983 (01.09.83), NETHERLANDS, vol. 214, no. 2-3, pages 491 - 496, XP002114346 ISSN: 0167 - 5087 cited in the application page 492, left hand column, paragraph 2 - right hand column, paragraph 1; figure 1 page 493, right hand column, paragraph 2	1-4, 6-8 10, 12-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 April 2000 (20.04.00)Date of mailing of the international search report
20 July 2000 (20.07.00)

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/BE 99/00167

C. (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DATABASE WPI Section EI, Week 198904 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class X14, AN 1989-030447 XP002136197 & SU 1 362 388 A (SUKHOMLYNOV V F), 30 July 1988 (30.07.88)</p>	1,12
A	<p>abstract --- PEDRONI E ET AL: "The 200-MeV proton therapy project at the Paul Scherrer Institute: conceptual design and practical realization" MEDICAL PHYSICS, JAN. 1995, USA, vol. 22, no. 1, pages 37-53, XP000505145 ISSN: 0094-2405 cited in the application page 39, right hand column, last paragraph -page 40, paragraph 1</p>	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/E 99/ 00167

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

SEE ADDITIONAL SHEET (s)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-15

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

1. Claims: 1-15

Treatment of a proton beam characterised by the simultaneous variation of the scanning speed and the beam intensity.

2. Claim: 16

Treatment of cancer with a dose conformation corresponding to the volume to be treated.

Information on family members

PL 99/00167

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PC, B 89/00167

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H05H7/00 G21K5/10

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H05H G21K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>KANAI T ET AL: "Three-dimensional beam scanning for proton therapy" NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH, 1 SEPT. 1983, NETHERLANDS, vol. 214, no. 2-3, pages 491-496, XP002114346 ISSN: 0167-5087 cité dans la demande page 492, colonne de gauche, alinéa 2 -colonne de droite, alinéa 1; figure 1 page 493, colonne de droite, alinéa 2 ---</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	<p>1-4, 6-8, 10, 12-15</p>

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☐ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

A document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

E document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

L document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

O document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

P document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

Z document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

20 avril 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

20.07.00

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

CAPOSTAGNO, E

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	No. des revendications visées
A	DATABASE WPI Section EI, Week 198904 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class X14, AN 1989-030447 XP002136197 & SU 1 362 388 A (SUKHOMLYNOV V F), 30 juillet 1988 (1988-07-30) abrégé ---	1,12
A	PEDRONI E ET AL: "The 200-MeV proton therapy project at the Paul Scherrer Institute: conceptual design and practical realization" MEDICAL PHYSICS, JAN. 1995, USA, vol. 22, no. 1, pages 37-53, XP000505145 ISSN: 0094-2405 cité dans la demande page 39, colonne de droite, dernier alinéa -page 40, alinéa 1 -----	9

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/BE 99/00167

Cadre I Observations - lorsqu'il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche (suite du point 1 de la première feuille)

Conformément à l'article 17.2)a), certaines revendications n'ont pas fait l'objet d'une recherche pour les motifs suivants:

1. ☐ Les revendications n^{os} se rapportent à un objet à l'égard duquel l'administration n'est pas tenue de procéder à la recherche, à savoir:
2. ☐ Les revendications n^{os} se rapportent à des parties de la demande internationale qui ne remplissent pas suffisamment les conditions prescrites pour qu'une recherche significative puisse être effectuée, en particulier:
3. ☐ Les revendications n^{os} sont des revendications dépendantes et ne sont pas rédigées conformément aux dispositions de la deuxième et de la troisième phrases de la règle 6.4.a).

Cadre II Observations - lorsqu'il y a absence d'unité de l'invention (suite du point 2 de la première feuille)

L'administration chargée de la recherche internationale a trouvé plusieurs inventions dans la demande internationale, à savoir:

voir feuille(s) additionnelle(s)

1. ☐ Comme toutes les taxes additionnelles ont été payées dans les délais par le déposant, le présent rapport de recherche internationale porte sur toutes les revendications pouvant faire l'objet d'une recherche.
2. ☐ Comme toutes les recherches portant sur les revendications qui s'y prêtaient ont pu être effectuées sans effort particulier justifiant une taxe additionnelle, l'administration n'a sollicité le paiement d'aucune taxe de cette nature.
3. ☐ Comme une partie seulement des taxes additionnelles demandées a été payée dans les délais par le déposant, le présent rapport de recherche internationale ne porte que sur les revendications pour lesquelles les taxes ont été payées, à savoir les revendications n^{os}
4. ☒ Aucune taxe additionnelle demandée n'a été payée dans les délais par le déposant. En conséquence, le présent rapport de recherche internationale ne porte que sur l'invention mentionnée en premier lieu dans les revendications; elle est couverte par les revendications n^{os}
1-15

Remarque quant à la réserve

- ☐ Les taxes additionnelles étaient accompagnées d'une réserve de la part du déposant.
- ☐ Le paiement des taxes additionnelles n'était assorti d'aucune réserve.

SUITE DES RENSEIGNEMENTS INDIQUEES SUR PCT/ISA/ 210

1. revendications: 1-15

Traitement d'un faisceau de protons caractérisé par la variation simultanée de la vitesse de balayage et de l'intensité du faisceau

2. revendication : 16

Traitement d'un cancer avec une conformation de dose correspondant au volume à traiter

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs : nombre de familles de brevets

Demande internationale No

PC / 89/00167

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
SU 1362388	A	30-07-1988	AUCUN

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant:

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

